

Имеет место

Теорема 2. *Линейное пространство общих решений операторов P и Q имеет размерность $k = m + n - r(\mathbf{R})$, ($r(\mathbf{R})$ — ранг $\mathbf{R}(x)$).*

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркович Л. М. *Факторизация и преобразования обыкновенных дифференциальных уравнений*. — Саратов: Изд-во Саратовс. ун-та, 1989. — С. 27-32.

Д. Ф. Абзалилов (Казань)

МИНИМИЗАЦИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПУТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОТСОСА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Распределенный отсос пограничного слоя (ПС) является одним из способов, позволяющих улучшить аэродинамические характеристики обтекаемого тела. Но вследствие того, что на отсос ПС расходуется энергия, задачи оптимизации устройства отсоса для получения максимального положительного эффекта от его использования являются актуальными [1,2]. В связи с этим представляет интерес следующая оптимизационная задача.

Рассматривается обтекание ПС некоторого участка $0 < s < l$ с заданным законом распределения $U(s)$ скорости внешнего течения при числе Re Рейнольдса. Требуется найти распределение $v_0(s) > 0$ скорости отсоса, чтобы коэффициент сопротивления

$$C_d = C_v + C_s$$

принимал минимальное значение. Здесь C_v — коэффициент сопротивления за счет вязкости, C_s — эквивалентный коэффициент сопротивления энергетических затрат, возникающих за счет введения системы отсоса. Для расчета ПС использовался метод Эпплера [3], состоящий в дифференцировании системы двух дифференциальных уравнений —

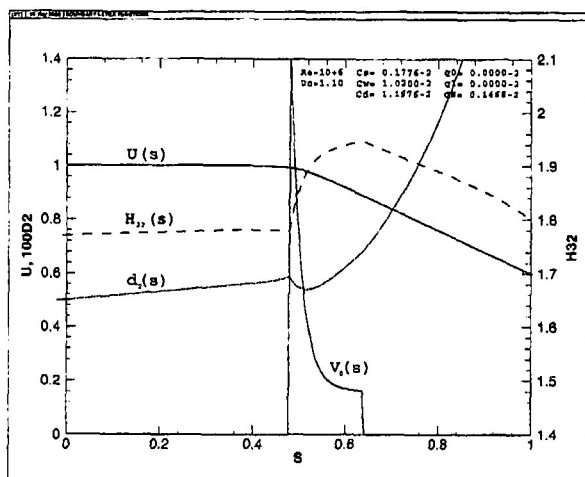


Рис.1

уравнения импульсов и энергии; коэффициент C_v рассчитывался по формуле Сквайра-Янга

$$C_v = \frac{2\delta_2}{b} \left(\frac{U}{U_\infty} \right)^{(5+H_{12})/2}$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ — толщина вытеснения, потери импульса, потери энергии соответственно, $H_{12} = \delta_1/\delta_2$ — формпараметр. Коэффициент C_v вычислялся по формуле из работы [3]

$$C_s = \frac{1}{b} \int_0^l \left(\frac{U_c(s)}{U_\infty} \right)^2 \frac{v_0(s)}{U_\infty} ds$$

Здесь $U_c(s)$ — некоторая фиктивная скорость, характеризующая потери в ПС ($U_c(s) > U(s)$).

В [4] оптимальное решение искалось численно, с заданием скорости отсоса в виде функции, зависящей от нескольких свободных параметров и сведением задачи к задаче нахождения минимума функции нескольких переменных. В настоящей работе поставленная оптимизационная задача переформулирована в терминах задач оптимального управления. Скорость отсоса

ПС выбрана в качестве управляющей функции. С использованием принципа максимума Понтрягина решение сведено к интегрированию системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка с неизвестными параметрами. Также решена задача проектирования — одновременной оптимизации как скорости отсоса, так и скорости внешнего потока на диффузорном участке с целью получения минимального коэффициента сопротивления. В качестве контрольных функций использовались скорость отсоса и производная скорости внешнего течения.

На рис.1 представлен пример нахождения скорости отсоса $v_0(s)$ (сплошная линия) и характеристик ПС $H_{32} = \delta_3/\delta_2$ (штриховая линия) и δ_2 (пунктирная линия) по заданному распределению скорости $U(s)$ внешнего течения.

Автор благодарит Н.Б.Ильинского и Р. Эпплера за полезные обсуждения.

Работа поддержана РФФИ (проекты 99-01-00365 и 99-01-04029).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Rioual J.-L., Nelson P. A., Hackenberg P., Tutty O. R.. *Optimum drag balance for boundary-layer suction*// J. of Aircraft. – V. 33. – 1996. – N 2. – P. 435–498.

2. Balakumar P., Hall P. *Optimum suction distribution for transition control*// Theoret. Comput. Fluid Dynamics. – V. 13. – 1999. – P. 1–19.

3. Eppler R. *Airfoils with boundary layer suction, design and off-design cases* // Aerospace Science and Technology. – V. 3. – 1999. – P. 403–415.

4. Абзалилов Д. Ф., Ильинский Н. Б. Марданов Р. Ф. *Оптимизация распределения скорости отсасывания пограничного слоя на проницаемых крыловых профилях*// Труды математического центра имени Н.И. Лобачевского. Каз. матем. об-во. – Казань: УНИПРЕСС, 1998. – С. 154–159.